



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-80-87>
УДК 543.39:665.081

Поступила 23.05.2025
Received 23.05.2025

ЖАРОПРОЧНЫЕ НЕРЖАВЕЮЩИЕ СТАЛИ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ АНАЛОГИ. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

А. Р. ЦЫГАНОВ, ЧУВО «Международный институт управления и предпринимательства»,
г. Минск, Беларусь, ул. Славинского, 1/3

А. С. ПАНАСЮГИН, Л. П. ДОЛГИЙ, Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: litteh@bntu.by

Н. П. МАШЕРОВА, И. И. КУРИЛО, Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а

Жаропрочные сплавы и стали относятся к специальным видам нержавеющей материалов, разработанных для высоких температур и агрессивной окружающей среды. Они предназначены для использования в условиях, где обычные стали могут потерять свои характеристики из-за высоких температур, окисления или коррозии. В данной работе проведен анализ соответствия отечественных жаропрочных сталей и сплавов и их зарубежных аналогов по EN, AISI, ASTM и AFNOR. Изучены механические свойства для сталей системы AISI. Проведено сравнение сфер применения основных жаропрочных сталей производства СНГ и системы AISI.

Ключевые слова. Аналог нержавеющей сталей, жаропрочные стали и сплавы.

Для цитирования. Цыганов, А.Р. Жаропрочные нержавеющей стали: отечественные и зарубежные аналоги. Механические свойства. Сферы применения / А.Р. Цыганов, А.С. Панасюгин, Л.П. Долгий, Н.П. Машерова, И.И. Курило // Литье и металлургия. 2025. № 3. С. 80–87. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-80-87>.

HEAT-RESISTANT STAINLESS STEELS: LOCAL AND FOREIGN EQUIVALENTS. MECHANICAL PROPERTIES, AND APPLICATION FIELDS

A. R. TSYGANOV, Non-State Educational Institution “International Institute of Management and Entrepreneurship”, Minsk, Belarus, 1/3, Slavinskogo str.

A. S. PANASYUGIN, L. P. DOLGIY, Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: litteh@bntu.by

N. P. MASHEROVA, I. I. KURILO, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str.

Heat-resistant alloys and steels are a specialized class of stainless materials designed for operation under elevated temperatures and in aggressive environments. These materials are intended for use in applications where conventional steels would lose their properties due to high temperature exposure, oxidation, or corrosion. This study analyzes the equivalence of domestic heat-resistant steels and alloys to their international counterparts in EN, AISI, ASTM, and AFNOR standards. The mechanical properties of steels within the AISI system are examined. A comparative review of the primary application fields of heat-resistant steels produced in the CIS and those of the AISI system is also provided.

Keywords. Stainless steel equivalents, heat-resistant steels and alloys.

For citation. Tsyganov A. R., Panasyugin A. S., Dolgiy L. P., Masherova N. P., Kurilo I. I. Heat-resistant stainless steels: local and foreign equivalents. Mechanical properties, and application fields. Foundry production and metallurgy, 2025, no. 3, pp. 80–87. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-80-87>.

Жаропрочные нержавеющей стали относятся к специальным видам нержавеющей сталей, разработанных для высоких температур и агрессивной окружающей среды. Они предназначены для использования в условиях, где обычные стали могут потерять свои характеристики из-за высоких температур, окисления или коррозии [1–7].

Цель данной работы – проведение анализа соответствия отечественных жаропрочных сталей и сплавов и их зарубежных аналогов по стандартам EN (Стандарт еврономы EN 10027), AISI (American Iron

and Steel Institute), ASTM (American Society for Testing and Materials) и AFNOR (Association Francaise de Normalisation); изучение механических свойств сталей и сплавов для системы AISI; сравнение сфер применения, химического состава, температурных режимов работы основных жаропрочных сталей производства СНГ и системы AISI.

Основные марки импортной жаропрочной стали и сферы их применения по стандарту AISI (США)

AISI 309 и 310. Обладают высокой термической стойкостью и используются в высокотемпературных проектах, таких как печи, горелки и тепловые обменники.

AISI 321 и 347. Обеспечивают устойчивость к интергранулярной коррозии при высоких температурах, что делает их подходящими для использования в аппаратах химической промышленности и высокотемпературных печах.

AISI 314. Предназначена для работы в условиях повышенных температур и обладает хорошей устойчивостью к окислению.

AISI 330. Имеет высокий коэффициент сопротивления окислению и коррозии при высоких температурах, что делает ее подходящей для использования в термопарах, электропечах и катализаторах.

AISI 314L и 310S. Обеспечивают стойкость к окислению и коррозии при повышенных температурах, что делает их подходящими для высокотемпературных и плавильных печей.

Incoloy – сплав на основе хрома и никеля, отличается особой прочностью при высоких температурах. Это аустенитная нержавеющая сталь, не требует дополнительной обработки после сварки для защиты от влаги. Разработано несколько разновидностей Incoloy – от 020 до 956. Каждая марка создана для определенных условий, например: 020 подходит для сред с серной и фосфорной кислотами, хлоридами; 028 содержит медь в составе, устойчива к серной кислоте; 800 отличается стабильностью после воздействия температур; 825 пригодна для эксплуатации в теплообменных магистралях высокого давления. Сплав Inconel используют в качестве замены алюминию, который разрушается при нагреве. При увеличении температуры на поверхности металла образуется пленка, защищающая его от разрушения. Сплав сложен в обработке, для этих целей нужен твердосплавный инструмент.

В табл. 1 приведены данные по соответствию химического состава сталей [1, 3, 6–8].

Таблица 1. Соответствие химического состава сталей по ГОСТ, EN, AISI, ASTM, AFNOR

AISI	EN	ASTM	AFNOR	ГОСТ	Маркировка завода
AISI 302B/309	1.4828	S 30215/30900	Z 17 CNS 20 12	12X18H9	
AISI 304H	1.4948	S 30409	Z 6 CN 18 11	08X18H10 и 12X18H9	ИЭ 914
AISI 309(S)	1.4833	S 30908	Z 15 CN 24 13	20X23H13	ЭИ319
AISI 310/314	1.4841	S 31000/31400	Z 15 CNS 25 20	20X23H18	ЭИ417
AISI 310(S)	1.4845	S 31008	Z 8 CN 25 20	10X23H18	
AISI 316 H	1.4919	S 31609	Z 6 CND 17 12	08X17H13M2T	
AISI 321	1.4878	S 32109	Z 6 CNT 18 12	08X18H10T	ЭИ914
AISI 321 H				12X18H10T	
AISI 347				12X18H10T	
AISI 314				20X23H18	ЭИ417
AISI 330	1.4864	N 08330	Z 20 NCS 33 16	12X17	ЭИ878
AISI 314L				20X25H20C2	ЭИ 283
AISI 442	1.4742	S 44200	Z 12 CAS 18	X2CrTiNb18	
AISI 446	1.4749	S 44600	Z 18 C 25	15X25T и 15X28	ЭИ439 и ЭИ349
AISI 327	1.4821		Z 20 CNS 25 04		
	1.4713		Z 8 CA 7	10X17CЮ	ЭИ448
AISI 405	1.4724		Z 13 C 13	10X13CЮ	ЭИ404
AISI 446	1.4762		Z 12 CAS 25	X10CrAlSi25	ЭИ439
AISI 163 B	1.4876	N 08800	Z 10 NC 32 21	X10NiCrAlTi32–21	
	1.4893	S 30815		X 8 CrNiSiN 21 11	
Incoloy 800H	1.4958	N 08810	Z 10 NC 32 21	X5NiCrAlTi31–20	
Incoloy 800	1.4959	N 08811		X8NiCrAlTi32–21	

Аналоги марок жаропрочных нержавеющей сталей AISI производства СНГ и их сферы применения [5, 9–12]

AISI 304. Российский аналог – 08X18H10. Аустенитная нержавеющая сталь с низким содержанием углерода. Легко поддается сварке, электрополировке, устойчива к межкристаллитной коррозии. Высокая прочность при низких температурах. Наиболее универсальная из всех марок нержавеющей сталей. Используется в установках для пищевой, химической, текстильной, нефтяной, фармацевтической и бумажной промышленности.

AISI 310. Российский аналог – 20X23H18. Сталь тугоплавкая, аустенитная, жаростойкая. В окисляющей среде можно применять обычно до 1100 °С, в восстанавливающей среде – до 1200 °С, но в любом случае в атмосфере, содержащей менее 2 г серы на 1 м³.

AISI 310S. Российский аналог – 10X23H18. Является низкоуглеродистой версией нержавеющей стали AISI 310 (20X23H18) и используется в условиях, где возможна коррозия высокотемпературными газами или конденсатами. Область применения: установки для термической обработки и при гидрогенизации, а также теплообменники для печей; изготовление дверей, штифтов, кронштейнов, деталей установок для конверсии метана, газопроводов, камер сгорания. Может применяться как материал для нагревательных элементов в производстве подогревателей воздуха, конвейерных лент в транспортерах печей, отводных трубах газовых турбин и моторов.

AISI 316. Российский аналог – 08X17H13M2. Улучшенная версия нержавеющей стали AISI 304 (08X18H10) (с добавлением молибдена), что делает ее особенно устойчивой к воздействию коррозии. Технические свойства этой стали при высоких температурах гораздо лучше, чем у аналогичных сталей, не содержащих молибден. Молибден делает сталь более защищенной от питтинговой коррозии в хлористой среде, морской воде и парах уксусной кислоты.

AISI 316L. Российский аналог – 03X17H13M2. Аналогична нержавеющей стали AISI 316 (08X17H13M2) с очень низким содержанием углерода. Особенно подходит для изготовления сварных конструкций. Обладает высокой устойчивостью к межкристаллитной коррозии, применяется в температурных режимах до 450 °С. Область применения: AISI 316 (08X17H13M2) и 316L (03X17H13M2) используются для химического оборудования, инструментов, вступающих в контакт с морской водой и атмосферой, при изготовлении оборудования для проявления фотопленок, в установках для переработки пищи, емкостях для отработанных масел.

AISI 316Ti. Российский аналог – 08X17H13M2T. Наличие титана, в пять раз превышающее содержание углерода, обеспечивает стабилизирующий эффект в отношении осаждения карбидов хрома на поверхность кристаллов. Применяется в пищевой и химической промышленности. Используется при изготовлении деталей, обладающих повышенной устойчивостью к воздействию высоких температур и к среде с присутствием новых ионов хлора; лопастей для газовых турбин, баллонов, сварных конструкций, коллекторов.

AISI 321. Российский аналог – 08X18H10T. Хромоникелевая сталь с добавкой титана, особенно рекомендуется в изготовлении сварных конструкций и для использования при температурах между 400 и 800 °С. Устойчива к коррозии. Область применения: оборудование для нефтеперерабатывающей промышленности, химическое оборудование, устойчивое к высоким температурам. Также применяется для изготовления сварного оборудования в разных отраслях промышленности (трубы, детали печной арматуры, теплообменники, муфели, реторты, патрубки и коллекторы выхлопных систем).

AISI 409. Российский аналог – 08X13. Характеризуется пониженным содержанием углерода, высокой стойкостью к окислению и обрабатываемостью. Используется при производстве труб для отвода отработанных газов, коллекторов, кожухов конвертеров.

AISI 410. Российский аналог – 10X13. Базовая мартенситная нержавеющая сталь. Обладает высокой ударной вязкостью, хорошей коррозионной стойкостью и жаропрочностью. Область применения: производство изделий, подвергающихся воздействию слабоагрессивных сред (атмосферные осадки, водные растворы солей органических кислот) при комнатной температуре. Может использоваться в изготовлении деталей машин и аппаратов для винодельческой промышленности, в том числе допускается применение в непосредственном контакте с сушлом, коньячным спиртом, продуктами переработки отходов пищевой промышленности.

AISI 420. Российский аналог – 20X13. Мартенситная нержавеющая сталь, обладает высокой износостойкостью, пластичностью, устойчива к высоким температурам и коррозии. По сравнению с базовой мартенситной маркой AISI 410 (10X13), сталь AISI 420 (20X13), обладая высоким содержанием углерода,

имеет более высокую твердость и износостойкость. Область применения: изготовление технологического оборудования, используемого на различных этапах пищевого производства (тепловая обработка).

AISI 430. Наиболее широко применяемая ферритная хромистая нержавеющая сталь. Имеет хорошие прочностные и механические характеристики, что обеспечивается высоким содержанием хрома и низким содержанием углерода; хорошо деформируется, используется в процессах вытяжки и штамповки. В отличие от аустенитных никельсодержащих нержавеющих сталей, низкоуглеродистые хромистые ферритные стали устойчивы к процессам коррозии в различных серосодержащих средах. Поэтому изделия из AISI 430 (12X17) могут использоваться в системах для перекачивания газа, нефти и чистых нефтепродуктов. Конструкции из AISI 430 (12X17) меньше изменяют размеры при колебаниях температур. Область применения: производство систем теплообмена.

AISI 439. Российский аналог – 08X17T. Отличная коррозионная стойкость в среде конденсата отработанных газов автомобиля. Область применения: производство автомобильных глушителей.

В табл. 2 приведены механические свойства жаропрочных нержавеющих сталей по AISI, в том числе удлинение на разрыв для образцов (цельнотельных, полос, трубок), определена твердость по Бринеллю и Роквеллу.

Таблица 2. Жаропрочные нержавеющие стали по AISI. Механические свойства

Стандарт AISI	Механические свойства							
	Напряжение на разрыв (мин), Ksi ¹ (МПа)	Условный предел текучести (мин), Ksi ¹ (МПа)	Удлинение на разрыв в % (на образце 2–50 мм)			Твердость (макс) по		
			Цельнотельный	Полоса толщиной		Трубка	Бринеллю	Роквеллу
				t = 6/16	t = 5/16			
304	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
304H	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
304L	70 (485)	25 (170)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
309	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
310	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
316	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
316H	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
316L	70 (485)	25 (170)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
316N	80 (550)	35 (240)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
321	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
321H	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
347	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
347H	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	28	192	B90
405	60 (415)	30 (205)	20	20	*2	–	207	B95
429	60 (415)	35 (240)	20	20	*2	–	190	B90
430	60 (415)	35 (240)	20	20	*2	–	190	B90
443	70 (485)	40 (275)	20	20	*2	–	207	B95
446	70 (485)	40 (275)	18	18	*2	–	207	B95
XM-8	60 (415)	30 (205)	20	20	*2	–	190	B90
316Ti	75 (515)	30 (205)	35	35	56t + 17,5	29	192	B90

В табл. 3 для сталей, изготовленных по ГОСТ, приведено назначение по критерию жаропрочности: для дисков, клапанов двигателей и турбин, деталей выхлопных систем, труб, листовых и сортовых деталей, сварных аппаратов, сосудов, работающих в разбавленных растворах азотной, уксусной, фосфорной кислот, растворах щелочей и солей.

Таблица 3. Назначение сталей и сплавов по критерию жаропрочности

Марки сталей и сплавов	Назначение	Рекомендуемая температура применения, °C	Температура начала интенсивного окисления в воздушной среде, °C
11X11H2B2MФ X12H2BMФ (ЭИ962)	Диски компрессора, нагруженные детали, длительно работающие при температуре до 600 °C; сталь мартенситного класса	600	750

Продолжение табл. 3

Марки сталей и сплавов	Назначение	Рекомендуемая температура применения, °С	Температура начала интенсивного окалинообразования в воздушной среде, °С
13X11H2-B2MФ (ЭИ961)	Различные детали газовых турбин, длительно работающие при температуре до 600 °С	600	750
16X11H2B2MФ 2X12H2BMФ (ЭИ962А)	Диски компрессора, лопатки и другие нагруженные детали	500–600	750 750
13X14H3B2ФР (ЭИ736)	Высоконагруженные детали, в т.ч. диски, длительно работающие при температуре до 550 °С в условиях повышенной влажности; температура окалинообразования 700 °С; сталь мартенситного класса	550	750
15X12BHMФ (ЭИ802)	Роторы, диски, лопатки, поковки, крепежные детали турбин для длительного срока службы при температуре до 580 °С; температура окалинообразования 750 °С; сталь мартенсито-ферритного класса	780	950
37X12H8Г8МФБ (ЭИ481)	Диски турбин крепежные и другие детали, работающие с ограниченным сроком службы при 600–650 °С; сталь аустенитного класса	630	750
ХН35ВТЮ (ЭИ787)	Диски турбин и компрессоров, рабочие лопатки газотурбинных и других двигателей, компрессорные лопатки, работающие при температуре до 700–800 °С, диски, дефлекторы, кольца, работающие при температуре до 750 °С	750	900
ХН67МВТЮ (ЭИ202)	Лопатки, корпуса, диски, листовые детали турбин, сварные изделия, работающие при температуре до 800 °С	800 850	1000 1000
ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	Диски, кольца, лопатки и другие детали, работающие при температуре до 750 °С	750	1050
40Х9С2	Клапаны моторов, крепежные детали	650	850
40Х10С2М (ЭИ107)	Клапаны моторов, крепежные детали	650	850
45Х22Н4МЗ (ЭП48)	Клапаны моторов	850	950
55Х20Г9АН4 (ЭП303)	Клапаны моторов	600	750
10Х11Н20ТЗР (ЭИ696)	Детали турбин (лист), турбинные диски, кольцевые детали, крепежные детали, детали компрессора и рабочей части турбины с рабочей температурой до 700 °С; сталь аустенитного класса	700	850
10Х11Н20Т2Р (ЭИ696А)	Детали турбин (лист)	700	850
09Х14Н16Б (ЭИ694)	Трубы пароперегревателей и трубопроводы установок сверхвысокого давления, листовой прокат, турбины пароперегревателей и трубопроводы установок сверхвысокого давления для длительной службы при температуре до 650 °С; сталь аустенитного класса	650	850
12Х18Н10Т	Детали выхлопных систем, трубы, листовые и сортовые детали, детали, работающие при температуре до 600 °С, сварные аппараты и сосуды, работающие в разбавленных растворах азотной, уксусной, фосфорной кислот, растворах щелочей и солей, и другие детали, работающие под давлением при температуре от –196 до 600 °С, а при наличии агрессивных сред – до 350 °С; сталь аустенитного класса	600	850
12Х18Н12Т	Детали выхлопных систем, трубы, листовые и сортовые детали, различные детали, работающие при температуре от –196 до 600 °С в агрессивных средах	600	860
12Х18Н9Т	Детали выхлопных систем, трубы, листовые и сортовые детали, сварная аппаратура, трубы, детали печной арматуры, теплообменники, муфели, аппараты и сосуды, работающие при температуре от –196 до 600 °С под давлением, а при наличии агрессивных сред – до 350 °С; сталь аустенитного класса	600	860
12Х25Н16Г7АР (ЭИ835)	Листовые и сортовые детали, работающие при умеренных напряжениях	950	1050–1100
ХН38ВТ (ЭИ703)	Листовые детали, работающие при умеренных напряжениях, детали газовых систем	950	1050
ХН60Ю (ЭИ559А)	Листовые детали турбин, работающие при умеренных напряжениях (может применяться для нагревательных элементов сопротивления), детали газопроводных систем, аппаратура с ограниченным сроком службы при 1100 °С и кратковременным сроком службы при 1250 °С	1100	1200

Окончание табл. 3

Марки сталей и сплавов	Назначение	Рекомендуемая температура применения, °С	Температура начала интенсивного окалиинообразования в воздушной среде, °С
ХН32Т (ЭП670)	Газоотводящие трубы, листовые детали высокотемпературных нефтехимических установок в нефтехимическом машиностроении для длительной службы при температуре 700–850 °С	850	1000
ХН70Ю (ЭИ652)	Листовые детали, различные детали, работающие при умеренных напряжениях при 1100–1200 °С (может применяться для нагревательных элементов сопротивления)	1100	1200
ХН75МБТЮ (ЭИ602)	Листовые детали турбин, высоконагруженные детали, штуцера, фланцы, листовые детали для ограниченного срока службы при температуре до 950 °С	950	1050
ХН56ВМТЮ (ЭП19)	Высоконагруженные детали, штуцера, фланцы, листовые детали для ограниченного срока службы при температуре до 950 °С	800	1000

В табл. 4 приведен химический состав сталей и сплавов по критерию жаропрочности для дисков, клапанов, деталей выхлопных систем, труб, листовых и сортовых деталей, сварных аппаратов и сосудов, работающих в разбавленных растворах азотной, уксусной, фосфорной кислот, растворах щелочей и солей. Также представлен химический состав материалов, модифицированных азотом, бором, церием, ниобием, алюминием, барием, медью и титаном [1–5, 8–11, 12]. Поскольку данные по химическому составу, представленные различными предприятиями-производителями, по содержанию основных компонентов имеют довольно заметные отличия, в табл. 4 они приведены как усредненные от 4–6 производителей и обозначены символом $\approx$. Содержание легирующих элементов, которые встречаются эпизодически, приведено в круглых скобках.

Таблица 4. Химический состав сталей и сплавов по критерию жаропрочности

Марка стали	Элемент												
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo (Ce)	W (Nb)	V (Al)	Ti (Ba)	B (Cu)	Fe
11X11H2B2MФ	$\approx 0,12$	до 0,6	до 0,6	$\approx 1,6$	до 0,025	до 0,03	$\approx 11,2$	$\approx 0,42$	$\approx 1,8$	$\approx 0,24$			$\approx 84,0$
13X11H2-B2MФ	$\approx 0,13$	до 0,6	до 0,6	$\approx 1,6$	до 0,03	до 0,03	$\approx 11,2$	$\approx 0,42$	$\approx 1,8$	$\approx 0,24$			$\approx 83,0$
16X11H2B2MФ	$\approx 0,16$	до 0,6	до 0,6	$\approx 1,6$	до 0,025	до 0,03	$\approx 11,0$	$\approx 0,42$	$\approx 1,8$	$\approx 0,24$			$\approx 80,0$
13X14H3B2ФР	$\approx 0,13$	до 0,6	до 0,6	$\approx 3,1$	до 0,025	до 0,03	$\approx 14,0$	$\approx 1,9$	$\approx 0,23$	$\approx 0,13$	до 0,6	до 0,6	$\approx 77,0$
15X12ВНМФ	$\approx 0,15$	до 0,4	$\approx 0,7$	$\approx 0,6$	до 0,025	до 0,03	$\approx 12,0$	$\approx 0,6$	$\approx 0,9$	$\approx 0,23$	до 0,2	(до 0,3)	$\approx 83,0$
37X12H8Г8МФБ	$\approx 0,37$	$\approx 0,5$	$\approx 8,5$	8,0	до 0,03	до 0,035	$\approx 12,5$	$\approx 1,3$	($\approx 0,35$)	$\approx 1,40$		(до 0,3)	$\approx 67,0$
ХН35ВТЮ	$\approx 0,25$	до 0,08	до 0,6	до 0,6	–	до 0,02	до 0,035		$\approx 3,0$	($\approx 1,1$)	$\approx 2,8$	до 0,02	$\approx 91,0$
ХН67МВТЮ	до 0,08	до 0,6	до 0,5	$\approx 64,6$	до 0,01	до 0,015	$\approx 18,0$	5,0	$\approx 4,5$	$\approx 1,25$	$\approx 2,5$	до 0,01	$\approx 2,9$
ХН77ТЮР	до 0,07	до 0,6	до 0,4	$\approx 73,8$	до 0,01	до 0,015	$\approx 20,5$	(до 0,02)		$\approx (1,1)$	$\approx 2,5$	до 0,01	до 1,0
40Х9С2	0,4	$\approx 2,5$	до 0,8	до 0,6	до 0,025	до 0,030	$\approx 9,0$					(до 0,3)	
40Х10С2М	0,4	$\approx 2,25$	до 0,8	до 0,6	до 0,025	до 0,030	$\approx 9,75$	$\approx 0,8$			до 0,2	(до 0,3)	$\approx 84,0$
45Х22Н4МЗ	$\approx 0,45$	$\approx 0,5$	$\approx 1,1$	$\approx 4,5$	до 0,03	до 0,03	$\approx 22,0$	$\approx 2,8$					$\approx 68,0$
55Х20Г9АН4	$\approx 0,55$	до 0,45	$\approx 9,0$	$\approx 4,0$	до 0,03	до 0,04	$\approx 21,0$					(до 0,3)	$\approx 64,0$
10Х11Н20ТЗР	до 0,1	до 1,0	до 1,0	$\approx 20,0$	до 0,02	до 0,035	$\approx 11,3$			(до 0,8)	$\approx 2,90$	до 0,02	$\approx 63,0$
10Х11Н20Т2Р	до 0,1	до 1,0	до 1,0	$\approx 20,0$	до 0,02	до 0,03	$\approx 11,3$			(до 0,8)	$\approx 2,55$	до 0,01	$\approx 63,0$
09Х14Н16Б	$\approx 0,1$	до 0,6	$\approx 1,5$	$\approx 15,5$	до 0,02	до 0,035	$\approx 14,0$	(до 0,02)	$\approx (1,1)$			до 0,01	$\approx 67,0$
12Х18Н10Т	до 0,12	до 0,8	до 2,0	$\approx 10,0$	до 0,02	до 0,035	$\approx 18,0$				$\approx 0,7$	(до 0,3)	$\approx 68,0$
12Х18Н12Т	до 0,12	до 0,8	до 2,0	$\approx 11,0$	до 0,02	до 0,035	$\approx 18,0$				$\approx 0,6$	(до 0,3)	$\approx 67,0$
12Х18Н9Т	до 0,12	до 0,8	до 2,0	$\approx 8,5$	до 0,02	до 0,035	$\approx 18,0$				$\approx 0,7$	(до 0,3)	$\approx 70,0$
12Х25Н16Г7АР	до 0,12	до 1,0	$\approx 6,0$	$\approx 16,5$	до 0,02	до 0,035	$\approx 24,5$					до 0,01	$\approx 53,0$
ХН38ВТ	$\approx 0,1$	до 0,8	до 0,7	$\approx 37,0$	до 0,02	до 0,03	$\approx 11,5$	(до 0,05)	$\approx 3,15$		$\approx 1,0$		$\approx 36,0$
ХН60Ю	до 0,1	до 0,8	до 0,3	$\approx 56,5$	до 0,02	до 0,02	$\approx 16,5$	(до 0,03)		(до 3,05)	(до 0,1)		$\approx 23,0$
ХН32Т	до 0,05	до 0,7	до 0,7	$\approx 32,0$	до 0,02	до 0,03	$\approx 20,5$			$\approx 0,45$			$\approx 46,0$
ХН70Ю	до 0,1	до 0,8	до 0,4	$\approx 68,1$	до 0,012	до 0,015	$\approx 27,5$	(до 0,03)		(до 3,1)	(до 0,1)	(до 0,1)	до 1,0
ХН75МБТЮ	до 0,1	до 0,8	до 0,4	$\approx 73,1$	до 0,012	до 0,02	$\approx 20,5$	$\approx 2,15$	$\approx (1,1)$	$\approx (0,55)$	$\approx 0,55$		до 3,0
ХН56ВМТЮ	до 0,1	до 0,06	до 0,5	$\approx 58,5$	до 0,015	до 0,015	$\approx 20,5$	$\approx 5,0$	$\approx 10,0$	$\approx 2,35$	$\approx 1,35$	до 0,01	до 4,0

Марки жаропрочных нержавеющей сталей производства СНГ и их назначение [8–10]

08X13 (ЭИ 496) – нержавеющая мартенситная сталь, содержит 0,08 % углерода. Используется для изготовления ножей, инструментов, деталей бытовой техники.

08X17, (ЭИ 645) – мартенситная нержавеющая сталь, содержит 0,08 % углерода и 17 % хрома. Применяется в производстве ножей, подшипников, инструментов.

08X18T1 (электроды ОЗЛ-11) – хромоникелевая нержавеющая сталь, имеет высокую стойкость к коррозии, широко используется в химической промышленности и при производстве химических реакторов.

10X23H18, (ЭИ 417) – аустенитная нержавеющая сталь, содержит 10 % никеля и 18 % хрома. Применяется в химической, пищевой и медицинской промышленности.

12X13 – мартенситная сталь. Используется для изготовления ножей, подшипников, деталей механизмов.

12X17 (ЭИ 496) – мартенситная сталь. Применяется для производства инструментов, ножей, подшипников.

14X17H2 (ЭИ 268) – аустенитно-ферритная сталь, содержит 14 % хрома и 2 % никеля. Используется в химической и нефтегазовой промышленности.

20X23H18 (ЭИ 417) – сверхстойкая нержавеющая сталь. Применяется в агрессивных химических средах, а также в пищевой и медицинской промышленности.

20X13 – мартенситная нержавеющая сталь. Используется для изготовления ножей, подшипников, деталей оборудования.

30X13 (ЭИ 72) – мартенситная нержавеющая сталь. Применяется в медицинском оборудовании, приборах и бытовых товарах.

40X13 – высокоуглеродистая мартенситная сталь. Используется для изготовления ножей, подшипников, деталей оборудования.

ХН32Т (ЭП 670) – сплав, в основе которого соединения никеля, выдерживает температуру до 800 °С. Применяется при изготовлении газоотводящих труб для химического машиностроения.

ХН35ВТ (ЭИ 612) – сплав для работы в агрессивных средах при высоких температурах. Используется для производства роторов, пружин и лопаток, функционирующих при температуре до 650 °С.

ХН38Т (ЭИ 703Б) – сплав на основе соединений железа и никеля, а также марганца и кремния, отвечающих за прокаливаемость и теплостойкость. Применяется для производства роликов для промышленных печей обжига керамики, конвейерных сеток и термопар;

ХН45Ю (ЭП 747) – термостойкая сталь на основе хрома и никеля, отличающаяся прочностью, свариваемостью и ползучестью. Из соединения делают камеры внутреннего сгорания и форсажа.

ХН60ВТ (ЭИ 868) – хромо-никеливая сталь, легированная титаном и вольфрамом. Востребована в производстве реактивных турбинных моторов, а также для ТЭНов промышленных агрегатов и бытовых приборов.

ХН70Ю (ЭИ 652) – применяется при выпуске деталей, работающих под умеренным напряжением, проволоки для энергетического машиностроения, сварочных электродов, а также узлов, эксплуатирующихся в средах с повышенной радиоактивностью.

ХН78Т (ЭИ 435) – выдерживает температуру до 1400 °С, подходит для изготовления труб для газовых магистралей и нефтепроводов, жаропрочных корпусов термопар.

Выводы

Проведен анализ соответствия отечественных жаропрочных сталей и зарубежных аналогов по стандартам EN, AISI, ASTM и AFNOR. Изучены механические свойства для сталей системы AISI (напряжение на разрыв, предел текучести, удлинение на разрыв для различных образцов (цельнотельных, полос, трубчатых), твердость по Бринеллю и Роквеллу). Проведено сравнение сфер применения основных жаропрочных сталей производства СНГ и системы AISI.

ЛИТЕРАТУРА

1. Структура и свойства аустенитной стали AISI 316L после безводородного азотирования / А. С. Гренадёров [и др.] // Успехи прикладной физики. – 2022. – Т. 10, № 5. – С. 469–479.
2. Effect of Boron Distribution on the Intergranular Corrosion Resistance of UNS S32506 Duplex Stainless Steels / T. Takayuki [et al.] // Journal of the Electrochemical Society. – 2019. – № 166. – P. 375–381.
3. Дергач, Т. А. Влияние бора на микроструктуру и свойства труб из низкоуглеродистой аустенитной хромоникелевой стали / Т. А. Дергач // Вопросы атомной науки и техники. – 2005. – № 5. – С. 80–86.

4. Electrochemical corrosion behavior of spray-formed boron-modified supermartensitic stainless steel / G. Zepon [et al.] // *Metall Mater Trans A*. – 2017. – № 48. – P. 2077–2089.
5. Design of wear resistant boron-modified supermartensitic stainless steel by spray forming process / G. Zepon [et al.] // *Materials & Design*. – 2015. – № 83. – P. 214–223.
6. Особенности микроструктуры, фазового состава и возможности упрочнения нержавеющей сталей с 13–17% Cr / Д. А. Пумпянский [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2022. – № 65. – С. 644–653.
7. Приданцев, М. В. Высокопрочные аустенитные стали / М. В. Приданцев, Н. П. Талов, Ф. М. Левин. – М.: Металлургия, 1969. – 247 с.
8. Шпайдель, М. О. Новые азотсодержащие аустенитные нержавеющей стали с высокими прочностью и пластичностью / М. О. Шпайдель // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2005. – № 11. – С. 9–13.
9. Банных, О. А. Азот как легирующий элемент в сплавах на основе железа / О. А. Банных, В. М. Блинов, М. В. Костина // *Фазовые и структурные превращения в сталях: труды школы-семинара. Вып. 3*. – Магнитогорск: Дом печати, 2003. – С. 157–192.
10. Effect of modification of oxide layer on NiTi stent corrosion resistance / C. Trépanier [et al.] // *Journal of biomedical materials research*. – 1998. – № 43. – P. 433–440.
11. Браун, М. П. Аналитический расчет поверхностной активности ниобия, циркония и лантана / М. П. Браун, Н. И. Матювенко // *Редкоземельные металлы и сплавы*. – М.: Наука, 1971. – С. 73–75.
12. Березовская, В. В. Система легирования высокоазотистых аустенитных сталей, структура, механические и коррозионные свойства / В. В. Березовская // *Инновации в материаловедении и металлургии: материалы I Междунар. интеракт. науч.-практ. конф.* – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2012. – Ч. 1. – С. 257–266.

REFERENCES

1. Grenaderov A. S., Oskirko V. O., Zakharov A. N. [et al.]. Struktura i svojstva austenitnoj stali AISI 316L posle bezvodorodnogo azotirovaniya [Structure and properties of austenitic AISI 316L steel after hydrogen-free nitriding]. *Uspekhi prikladnoj fiziki = Successes of Applied Physics*, 2022, vol. 10, no. 5, pp. 469–479.
2. Takayuki T. [et al.] Effect of Boron Distribution on the Intergranular Corrosion Resistance of UNS S32506 Duplex Stainless Steels. *Journal of the Electrochemical Society*, 2019, no. 166, pp. 375–381.
3. Dergach T. A. Vliyanie bora na mikrostrukturu i svojstva trub iz nizkouglerodistoj austenitnoj hromonikelevoj stali [The effect of boron on the microstructure and properties of pipes made of low-carbon austenitic chromium-nickel steel]. *Voprosy atomnoj nauki i tekhniki = Issues of atomic science and technology*, 2005, no. 5, pp. 80–86.
4. Zepon G. [et al.] Electrochemical corrosion behavior of spray-formed boron-modified supermartensitic stainless steel. *Metal Mater Trans A*, 2017, no. 48, pp. 2077–2089.
5. Zepon G. [et al.] Design of wear resistant boron-modified supermartensitic stainless steel by spray forming process. *Materials & Design*, 2015, no. 83, pp. 214–223.
6. Pumpyansky D. A., Pyshmintsev I. Yu., Bitjukov S. M., Gervasiev M. A., Gusev A. A. Osobennosti mikrostruktury, fazovogo sostava i vozmozhnosti uprochneniya nerzhavayushchih staley s 13–17% Cr [Features of microstructure, phase composition and the possibility of strengthening stainless steels with 13–17% Cr]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaya Metallurgiya = News of higher educational institutions. Ferrous Metallurgy*, 2022, no. 65, pp. 644–653.
7. Pridantsev M. V., Talov N. P., Levin F. M. *Vysokoprochnye austenitnye stali* [High-strength austenitic steels]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1969, 247 p.
8. Shpaidel M. O. Novye azotsoderzhashchie austenitnye nerzhavayushchie stali s vysokimi prochnost'yu i plastichnost'yu [New nitrogen-containing austenitic stainless steels with high strength and ductility]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metal science and heat treatment of metals*, 2005, no. 11, pp. 9–13.
9. Bannykh O. A., Blinov V. M., Kostina M. V. Azot kak legiruyushchij element v splavah na osnove zheleza [Nitrogen as an alloying element in iron-based alloys]. *Fazovye i strukturnye prevrashcheniya v stalyah: trudy shkoly-seminara. Vyp. 3 = Phase and structural transformations in steels: Proceedings of the seminar school. Vol. 3*. Magnitogorsk: Dom pečati Publ., 2003, pp. 157–192.
10. Trépanier C. [et al.] Effect of modification of oxide layer on NiTi stent corrosion resistance. *Journal of biomedical materials research*, 1998, no. 43, pp. 433–440.
11. Brown M. P., Matyuchenko N. I. Analiticheskij raschet poverhnostnoj aktivnosti niobiya, cirkoniya i lantana [Analytical calculation of surface activity of niobium, zirconium and lanthanum]. *Redkozemel'nye metally i splavy = Rare earth metals and alloys*. Moscow, Nauka Publ., 1971, pp. 73–75.
12. Berезovskaya V. V. Sistema legirovaniya vysokoazotistyh austenitnyh staley, struktura, mekhanicheskie i korrozionnye svojstva [Alloying system for high-nitrogen austenitic steels, structure, mechanical and corrosion properties]. *Innovacii v materialovedenii i metallurgii: materialy I Mezhdunar. interakt. nauch.-prakt. konf. = Innovations in materials science and metallurgy: materials I International. interact. conf.* Yekaterinburg, Izd-vo Ural'skogo un-ta, 2012, part 1, pp. 257–266.